Олимпиада школьников СПбГУ по физике

отборочный этап (11 класс)

Внимание! Задачи могут иметь не одно единственное решение. Постарайтесь найти все!

ЗАДАЧА № 1

«Простая» задача

Два приятеля-одноклассника решили участвовать в олимпиаде по физике и попросили своего учителя подготовить для них ряд задач соответствующей сложности. Когда они ознакомились с предложенными задачами, то одна из них вызвала удивление обоих приятелей. Звучала она так:

«*Железнодорожный вагон с песком общей массой М катится по инерции со скоростью V по горизонтальному пути. Пуля массой m со скоростью U летит ему вдогонку и, пробив заднюю стенку, застревает в песке. Определить тепловой эффект (Q) удара, т.е. энергию, перешедшую при этом в тепло*».

«***Ну что это за задача? Тут и решать-то нечего***»,- сказал учителю один из приятелей.
«***Да она вообще устная и решается за полминуты***»,- поддержал его другой.

На это учитель предложил им подойти к доске и каждому на своей половине привести это «простое» решение. Действительно, не прошло и 30 секунд, как дело было сделано. Но каково же было удивление ребят, когда они увидели, что ответы у них совершенно разные. Более того, каждому из них ответ другого тоже казался правильным. Вот эти решения:

А) В системе отсчета, связанной с «землей», скорость пули до и после попадания равна, соответственно, U и V. Потерянная пулей кинетическая энергия как раз и составляет тепловой эффект:

$$Q = ½ m (U^2 – V^2).$$

В) В системе отсчета, связанной с вагоном, скорость пули до попадания равна (U – V), а после - 0. Здесь тоже потеря пулей кинетической энергии составляет тепловой эффект, но уже другой:

$$Q = ½ m (U – V)^2.$$

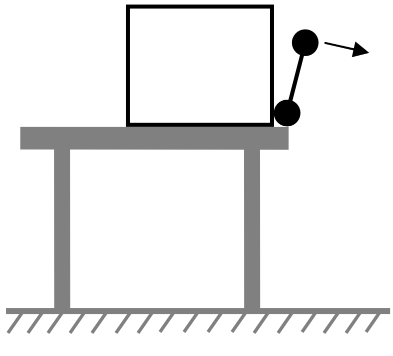
В своих «простых» решениях оба подсознательно исходили из того «очевидного» факта, что в силу реального соотношения масс пули и вагона, скорость последнего останется после попадания пули практически такой же. Во всяком случае, ее изменение будет столь ничтожным, что им «по-любому» можно пренебречь.

Так кто же (вопрос №1) из приятелей прав, «А», или «В»? А если оба неправы, то (вопрос №2) кто все-таки ближе к истине? И (вопрос №3) в чем точно эта истина (Q) заключается?

ЗАДАЧА № 2

Вниз «кувырком»

<u>На самом краю массивного</u> стола вертикально (в состоянии неустойчивого равновесия) стоит гантель. Она представляет собою ***<u>невесомый</u>*** тонкий стержень длиной ***<u>l</u>*** с ***<u>маленькими</u>*** ***<u>гладкими</u>*** шариками на концах массой ***m*** каждый. Вплотную к гантели придвинут ящик с вертикальными стенками. Коэффициент трения между столом и ящиком ***μ***. В некоторый момент гантель теряет равновесие и начинает опрокидываться, как это показано на рисунке, т.е. верхний шарик медленно отделяется от ящика и начинает движение по дуге радиуса ***<u>l</u>*** перпендикулярно плоскости стенки, к которой был прижат. Нижний шарик какое-то время будет оставаться прижатым к столу и ящику. Но когда угол отклонения гантели от вертикали достигает некоторого значения, нижний шарик срывается со стола, и гантель продолжает свое движение уже в свобод-



ном полете. Найти этот угол отрыва (φ_o), если ящик не сдвинулся с места (вопрос №1). Какая (вопрос №2) минимальная масса ящика ($\boldsymbol{M}_{min}$) гарантирует его неподвижность? При какой (вопрос №3) минимальной высоте стола ($\boldsymbol{H}_{min}$) гантель ударится о пол плашмя, т.е. обоими шариками одновременно? Сопротивлением воздуха пренебречь.

ЗАДАЧА № 3

«Павильон катальной горки»

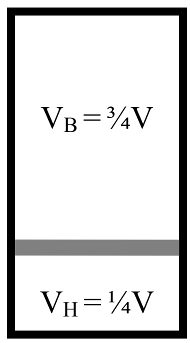
На детской площадке из досок построена горка, которую зимой заливают для катания детей на санках, «ледянках», «ватрушках» и т.п. Высота ее h = 3м, а длина наклонной плоскости l = 5м. Летом, увы, горка простаивала без дела. Но вот кто-то из школьников нашел в Интернете, что в одном из парков под Санкт-Петербургом есть некий ***«Павильон катальной горки»***, где еще Екатерина II забавляла гостей, устраивая им летом катания с крутых горок ***на тележках***. Не отсюда ли, думают многие, пошли «русские горы» в Америке и уже потом (как всегда у нас) «американские» в России?

Те горки, к сожалению, не сохранились, но идея вдохновила ребят. Изобретательные старшеклассники тут же решили ее опробовать и из подручных средств соорудили тележку. Она состоит из плоской алюминиевой плиты массой $m_п$ = 4кг и четырех колес массой $m_о$ = 6кг каждое (ничего более подходящего не нашлось). Колеса устроены так, что практически вся их масса сосредоточена во внешнем тонком металлическом ободе с резиновым покрытием. На горке был сделан плавный переход с наклонной плоскости на землю, и катания начались. Чтобы не пачкать одежду о металл, на плиту всегда клали тонкий лист картона. Катание на тележке заинтересовало и маленьких детей. Однако вскоре выяснилось, что кататься можно далеко не всем. Если вес ребенка не превышал 20 кг, то во время спуска он вместе с картонным листом начинал соскальзывать с плиты вниз, и ему необходимо было держаться за нее руками, чтобы не «нырнуть» под тележку.

Определить, какую в этой ситуации максимальную величину (μ_{max}) мог иметь коэффициент трения между алюминиевой плитой и картонной прокладкой.

ЗАДАЧА № 4

«Золотая середина»



В закрытом цилиндре находится массивный теплопроводящий поршень. По обе стороны от него находятся одинаковые количества одного и того же идеального газа. Поршень без трения может скользить по стенкам цилиндра, но при этом герметично разделяет обе части его объема и, кроме того, обеспечивает своей теплопроводностью равенство их температур. Таким образом, при горизонтальном положении цилиндра поршень находится посередине, разделяя объем на две равные части. Если при абсолютной температуре $T_о$ цилиндр поставить вертикально, поршень установится на уровне, разделяющем объем верхней и нижней частей в отношении $V_В : V_Н = 3:1$ (см. рисунок). Каким будет это отношение ($V^*_В : V^*_Н$) при температуре $T^* = 3T_о$?

ЗАДАЧА № 5

«Неровная» прямая

Процесс сжатия (или расширения) 1 моля идеального газа имеет на PV-диаграмме вид отрезка прямой с концами в точках (P_1 ; V_1) и (βP_1 ; V_1/β), где β – произвольное положительное число. Найти минимальную (T_{min}) и максимальную (T_{max}) температуру газа в этом процессе и указать параметры (P ; V), соответствующие этим случаям.

ЗАДАЧА № 6

Двое на одной «лыжне»

На бесконечную непроводящую горизонтальную спицу плотно (т.е. без люфта) надеты две разных бусинки сферической формы, которые могут свободно скользить по этой спице без трения. Одна из бусинок заряжена, а спица и другая бусинка - нет. Вся система находится в однородном электрическом поле, вектор напряженности которого имеет составляющую вдоль спицы (E_l). Изначально бусинки удерживаются на некотором расстоянии друг от друга. В момент $t_о$=0 их отпускают. Заряженная бусинка начинает движение в сторону незаряженной и в момент $t_1=\boldsymbol{T}$ (т.е. через время $\boldsymbol{T}$ после начала движения) сталкивается с ней. Считая столкновение центральным и абсолютно упругим, а заряд неизменным, определить момент (t_2=?) их второго столкновения (вопрос №1). Определить моменты (t_3 , t_4 , t_5, ... t_n...) всех последующих столкновений бусинок (вопрос №2).

Каким будет (вопрос №3) среднее (за очень большой промежуток времени) ускорение каждой из бусинок *(<a1> и <a2>),* если задать все необходимые параметры (массы m_1 и m_2 , заряд q_1, поле E_l)?

ЗАДАЧА № 7

Нагрев по заказу

Для проведения одного эксперимента необходимо было, чтобы некоторое количество воды в резервуаре закипело ровно через $t_o = 54$ секунды после включения установки. В распоряжении исследователей был единственный источник постоянного тока и достаточное количество проволоки для наматывания спирали нагревателя. Первые две пробы показали, что нагреватель сопротивлением R_1=6Ω, подключенный к имеющемуся источнику, доводит воду до кипения за время $t_1 = 48$ секунд, а нагревателю сопротивлением R_2=18Ω требуется для этого время $t_2 = 64$ секунды. Каким должно быть сопротивление намотанного из проволоки нагревателя (R_o), который от того же источника обеспечит необходимое время нагрева $t_o = 54$ секунды. Теплопотерями пренебречь. Знак Ω – старинное обозначение единицы «Ом», которое и сейчас широко используется во избежание путаницы между буквой «О» и цифрой «0».

ЗАДАЧА № 8

Критерий брака

Предприятие производит стандартные источники постоянного тока со стандартными значениями ЭДС и внутреннего сопротивления, равными, соответственно, ε и r. В каждой новой партии каждому источнику присваивается порядковый номер n (n = 1, 2, 3…и т.д.). Первичный контроль качества изделий осуществляется не поштучно, а сразу целиком у всей партии. Для этого все источники соединяют параллельно друг другу в одной полярности в единую батарею и измеряют ее ЭДС. Затем подключают к получившейся батарее элементов стандартное сопротивление $R_o = 4r$ и измеряют протекающий по R_o ток. Если в партии отсутствует брак, т.е. нет источников со значительными отклонениями параметров от номинала (ε и r), то измеренные ЭДС и ток через R_o должны иметь стандартные значения. Если же отличие измеренных параметров от стандарта превышает допустимую норму, вся партия бракуется. Чему равны (вопрос №1) эти стандартные величины общей ЭДС батареи элементов (ε_S) и тока через R_o (I_S), если в каждой партии число изделий (N) очень велико ($N \to \infty$).

Однажды (13-го числа в пятницу) при изготовлении очередной партии источников на линии внезапно произошел технологический сбой, и параметры всех изделий вышли из нормы. В силу неведомых причин ЭДС каждого источника с соответствующим номером (n) оказалась равной $\varepsilon_n = \varepsilon/(13)^n$, а внутреннее сопротивление составило $r_n = r\cdot(5)^n$. Какую общую ЭДС батареи (ε*) и какой ток через R_o (I*) показали контрольные приборы при стандартной проверке этой партии (вопрос №2)?

ЗАДАЧА № 9

Подвижное изображение

Свободно падающая капля пересекла оптическую ось 2,5-кратной лупы (фокусное расстояние $F = 10$ см) на расстоянии *l = 15 см* от ее оптического центра. При этом скорость изображения капли оказалась равной $V^* = 26$м/с и составила с оптической осью лупы угол $\alpha^* = \mathrm{arctg}\,(5/12)$. Какой угол ($\alpha$) оптическая ось образует с вертикалью (вопрос №1)? С какой высоты над точкой пересечения (h) упала капля (вопрос №2)?